

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**CeO₂ hordozós Rh-Co katalizátorok felületi és
morfológiai jellemzése**

Varga Erika

Témavezető:

Dr. Erdőhelyi András

professor emeritus

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Szeged

2016

1. Bevezetés

Napjaink növekvő nyersanyag- és energiaigényének köszönhetően egyre nagyobb szerep jut a heterogén katalitikus reakcióknak az iparban, és ezzel párhuzamosan a hatékony, környezetbarát, olcsó és regenerálható katalizátorok fejlesztése is kívánatossá vált. Ez a feladat azonban csak hosszas tudományos munkával és korszerű módszerekkel oldható meg.

A kémiai reakciók a katalizátor felületén mennek végbe, ezért a katalitikusan aktív réteg vizsgálata nehézkes, hiszen a felső atomi rétegek sokkal gyorsabban változnak a tömbfázisnál. Az anyagnak ez a része sajátos fizikai-kémiai jellemzőkkel bír, melyeket a tömbfázis és a mintát körülvevő atmoszféra együttesen határoz meg adott körülmények között. A katalízis kézen fogva jár a nanotechnológiával, ahol az újszerű jellemzők a felületi atomok nagy arányára vezethetők vissza. A nanoobjektumok valójában már évtizedekkel ezelőtt megjelentek a katalízisben, manapság pedig a megfelelő szerkezet tudatos előállítására és ezáltal a tulajdonságaik finomhangolására fektetnek hangsúlyt. Ez szintén megoldhatatlan probléma megfelelő vizsgálati módszerek nélkül.

Számos módszer áll rendelkezésünkre, melyekkel megismerhetjük a minta morfológiáját (pl. SEM, XRD, LEED) vagy a kötésviszonyait (pl. EXAFS), azonban ezek nagy része csak modell rendszereken működik jól, vagy nem nyújtanak elegendő új ismeretet, esetleg károsíthatják a felületet (SIMS). A felületvizsgálati módszerek közül kiemelkedik a röntgen fotoelektron-spektroszkópia (XPS), mellyel a minőségi jellemzésen és a mennyiségi összehasonlításra túl az egyes elemek oxidációs állapota is meghatározható. A kisenergiájú ionszórás spektroszkópia (LEIS) előnye, hogy a legfelső atomréteg minőségi összetételéről ad információt.

A vizsgálatok tárgyát képező katalizátorok általában összetett rendszerek, hordozós, adalékolt vagy nanoméretű részecskéket tartalmazó minták. A nanotechnológia révén a drágább komponensek felhasználása is kifizetődő lehet a nagyobb hatékonyság és a kisebb anyagfelhasználás miatt. A kutatók igyekeznek azonban a nemesfémeket kiváltani, így kerültek előtérbe az átmenetifém katalizátorok. A Co számos reakcióban bizonyult aktívnak, például az etanol gőzreformálásában, a $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ és a $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ reakcióban, vagy a Fischer-Tropsch szintézisben. Ezek mindegyike környezetvédelmi és gazdasági szempontból is fontos reakció. Megfigyelhető azonban, hogy akár már nyomnyi mennyiségű nemesfém hozzáadásával is még tovább javíthatóak az átmenetifémek katalitikus tulajdonságai.

Doktori munkámat azok az eredmények ihlették, amelyeket a kutatócsoportunkban az etanol gőzreformálásában érték el. Munkatársaim a Co katalizátorok közül a CeO_2 hordozós

mintákon egyszerre jó etanol konverziót és H_2 szelektivitást találtak, míg az Al_2O_3 és a SiO_2 hordozós katalizátorok legalább az egyik kritériumnak nem feleltek meg. A Co/CeO₂ minták aktivitása nyomnyi mennyiségű Rh hozzáadásával tovább növekedett. Három éves kutatómunkám célja a Rh-Co/CeO₂ katalizátorcsalád szerkezeti, elsősorban felületi jellemzése volt, egyszerű fizikai-kémiai kísérletek után.

A Rh-Co/CeO₂ por mintákat impregnálással állítottuk elő különböző Rh-Co tartalommal. Jellemzésükre az elsődleges módszer az XPS volt, de felhasználtam még TEM, XRD és CO adszorpciós méréseket is a részecskeméret és a kristályosság vizsgálatához. Raman spektroszkópiával és diffúz reflexiós UV-vis spektroszkópiával (DRS) a CeO₂ hibahelyeit és a tiltott sáv szélességét sikerült tanulmányozni, a LEIS a beoldódás-dekorációs effektus feltérképezésében bizonyult hasznosnak, fotovoltammetriával pedig a félvezető jelleget elemeztem.

A vizsgálatok célja a fém-hordozó és a Rh-Co kölcsönhatás feltérképezése volt, melyhez elengedhetetlen volt a tiszta hordozó tanulmányozása. A mintákon egyszerű kísérleteket végeztem, mint az oxidáció-redukció és a hőkezelés. Az oxidáló és redukáló reagensek együttes hatását az etanol gőzreformálásának példáján keresztül mutatom be.

2. Kísérleti rész

A minták előállításakor az előzőleg 773 K-en kalcinált CeO₂-ot Co(NO₃)₂ vizes oldatával impregnáltuk, úgy, hogy a névleges fémtartalom 2 vagy 10 tömeg% legyen, majd 973 K-en 1 órán át kalcináltuk. A Rh tartalmú mintákat a RhCl₃ oldattal történő impregnálás után (0,1; 1 vagy 5 tömeg%) 397 K-en szárítottuk.

Az XP spektrumok felvételéhez SPECS gyártmányú, PHOIBOS 150 MCD 9 típusú analizátorral felszerelt spektroszkópot alkalmaztunk. A vizsgálatainkhoz nemmonokromatikus Al K α sugárzást használtunk, és az ágyút 210 W teljesítménnyel (14 kV, 15 mA) működtettük. A spektrumfelvételt FAT módban hajtottuk végre, a „pass energy-t” az áttekintő spektrumoknál 30 eV-ra, míg a nagyfelbontású spektrumoknál 20 eV-ra állítottuk. Az energiaskála kalibrációját a Ce 3d spektrum u''' komponensének (Burroughs féle jelölés) kötési energiája alapján végeztük, melyet 916,6 eV értékre állítottunk. Katalitikus vizsgálatokhoz az analíziskamrától kapuszeleppel elkülönített nagynyomású kezelőkamra (High Pressure Cell, HPC) volt segítségünkre, melyben a minta egy harang alakú, leereszthető egység alatt kezelhető atmoszférikus nyomáson, áramló gázokban. A minta fűtését a tartólemezőnek elektronbombázása biztosítja.

A LEIS mérések ugyanezzel a műszerrel zajlottak. IQE 12/38 típusú ionágyúban, 800 V feszültséggel gyorsított He ionokat alkalmaztunk $200 \text{ nA}\cdot\text{cm}^{-2}$ felületi árammal, míg ionmaratásnál 4000 V volt az Ar ionok gyorsítófeszültsége ($700 \text{ nA}\cdot\text{cm}^{-2}$).

A BET felület és a pórusméret eloszlás mérése Quantachrome NOVA 3000e műszerrel történt N_2 adszorpcióval a cseppfolyós N_2 hőmérsékletén, a BET (Brunauer-Emmett-Teller) és a BJH (Barrett-Joyner-Halenda) módszerek szerint.

A TPR mérésekhez BELCAT-A készüléket használtunk. A vizsgálatok előtt a katalizátort 673 K-en 30 percig oxidáltuk, majd áramló Ar gázban szobahőmérsékletre hűtöttük és még 15 percig öblítettük. Ezután 10% H_2 -t tartalmazó Ar gázban 1373 K-ig fűtöttük a mintát $20 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$ sebességgel, miközben a H_2 fogyást hővezetőképességi detektorral mértük.

HRTEM felvételek készítéséhez FEI Tecnai G^2 20 X-Twin típusú mikroszkópot alkalmaztunk, 200 kV-os feszültséggel, 180000-szeres nagyítással, $125 \text{ pm}\cdot\text{pixel}^{-1}$ felbontással.

Rigaku Miniflex II röntgen diffraktométert használtunk $\text{Cu K}\alpha$ sugárással ($\lambda = 0,15418 \text{ nm}$) az XRD vizsgálatokhoz, $4 \text{ fok}\cdot\text{min}^{-1}$ pásztázási sebességgel a $3\text{--}80^\circ$ 2θ tartományban. Az átlagos krisztallitméretet a Scherrer egyenletből határoztuk meg.

A DRIFT spektrumokat cseppfolyós N_2 -nel hűtött MCT detektorral felszerelt Agilent CARY-670 FTS-135 FT-IR spektrométerrel vettük fel, mely BaF_2 ablakkal ellátott diffúz reflexiós egységgel is rendelkezett.

A Raman spektrumok rögzítéséhez egy Thermo Scientific DXR Raman spektroszkópot használtunk 532 nm lézer gerjesztéssel (10 mW teljesítmény). A felbontás 4 cm^{-1} volt, és a jel/zaj arány legalább 1000 értékéig gyűjtöttük az adatokat.

A diffúz reflexiós UV-vis spektroszkópiához egy Avasphere-50 típusú Avantes integráló gömbbel felszerelt AvaSpec2048 száloptikás spektrométert alkalmaztunk. A tiltott sáv szélességét a megfelelő Tauc diagram segítségével állapítottuk meg.

A fotovoltammetrikus méréseket egy klasszikus egykamrás, háromelektrodos elektrokémiai cellában elhelyezkedő Autolab PGSTAT302 készülékkel végeztük. A mintákat üveges szén elektródra osztattuk el és munkaelektrodnak kapcsoltuk. Nagyméretű Pt film ellenelektroddal és egy $\text{Ag}/\text{AgCl}/3 \text{ M KCl}$ referenciaelektroddal egészítettük ki a mérőcellát. A fényforrás 300 W teljesítményű Hg-Xe ívlámpa (Hamamatsu L8251) volt.

A magas hőmérsékletű redukcióban kialakuló felületi formák tanulmányozásához a 30 percig 673 K-en oxidált és egy órán át 773 K-en redukált katalizátorokat N_2 atmoszféra alatt 773 K-ig fűtöttük, miközben $100 \text{ K}\cdot\text{enként}$ rögzítettük az XP spektrumokat.

Az etanol gőzreformálásában a katalizátorokat 673 K-en oxidáltuk és 773 K-en redukáltuk. Etanol és víz 1:3 mólarányú keverékét $0,007 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ áramlási sebességgel egy

HPLC pumpa segítségével (Younglin) juttattuk az elpárolgatóba. Az etanol-víz gőzt innen $60 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ áramlási sebességű N_2 gáz vitte az XPS készülék HPC kamrájába, az előkezelt mintára. Szobahőmérsékletéről 773 K -ig emeltük a hőmérsékletet $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ felfűtési sebességgel.

A szinterelődési kísérletekben a 30 perces, 673 K -en történt oxidáció után negyed órás ciklusokban redukáltuk a mintákat. A hőmérsékletet $25\text{-}50 \text{ K}$ -nel emeltük, szobahőmérsékletéről a Rh teljes redukációjáig (alacsony hőmérsékletű redukció). A mintákat ezután kétszer egy órán át 773 K -en 10^{-8} mbar nyomástartományban fűtöttük, végül kétszer fél óráig oxidáltuk 673 K -en.

3. Az új tudományos eredmények tézisszerű bemutatása

1. CeO_2 hordozós Co esetében a 773 K -en folytatott redukció alatt a Co^{2+} ionok a CeO_2 hordozóba oldódnak. Ez a folyamat a felületi rétegek Co-ban való elszegényedésén túl, melyet XPS és LEIS mérésekkel igazoltam, a CeO_2 részecskeméretének csökkenésével is jár, ami a Co tartalom növelésével fokozható az XRD és TEM eredmények alapján. A Rh gátolja ezt a folyamatot azáltal, hogy növeli a redukció alatt a fém Co arányát.
2. A 773 K -en redukált CeO_2 hordozós Co és Rh minták inert atmoszférában való felfűtésekor XPS-sel kimutatható a hordozó oxigénjének vándorlása a fémekre.
 - 2.1. A kezdetben Co^{2+} -t és Co^0 -t is tartalmazó minta teljes fémtartalma Co^{2+} -á oxidálódott és kidiffundált a felületre 573 K -ig. Az $573\text{-}773 \text{ K}$ hőmérséklettartományban már nem volt lényeges változás. A folyamat független volt a Co mennyiségtől és a Rh adaléktól.
 - 2.2. A teljesen redukált Rh részlegesen és reverzibilisen oxidálódott. A felfűtés egyes szakaszaiban különböző $\text{Rh}^{\delta+}/\text{Rh}$ arányokat számoltam, ami nem mutatott egyértelmű függést a mennyiségtől vagy a hőmérséklettől. A Rh+Co/ CeO_2 rendszerek tanulmányozásával igazoltam, hogy a Rh oxidációját a Co gátolja, feltehetően az oxigénért való versengés miatt.
 - 2.3. Külön kísérletben igazoltam, hogy a fémeket oxidáló ágens a CeO_2 hordozótól származik. Az erősen redukált CeO_2 felület vákuumban való felfűtéskor teljesen oxidálódott, azaz a tömbfázisbeli oxigén ionok a hőmérséklet emelés hatására mozgékonyá váltak, és szegregáltak. A felületen megjelent oxigén a hordozott

fémeken is megkötődhetett („O-spill over”).

- 2.4. Oxidált Rh/CeO₂ minta vákuumban történő hőkezelésekor 1 óra után a Rh és a hordozó redukcióját tapasztaltam, mely a fémmentes CeO₂-dal való összehasonlítás alapján azt bizonyította, hogy a Rh katalizálja az oxigén távozását a minta felületéről.
3. Az etanol gőzreformálásának példáján megmutattam, hogy oxidáló és redukáló reagensek együttes hatására CeO₂ hordozón a Co oxidációs állapota egy egyensúlyi összetétel felé tolódik el, mely Co²⁺-t és Co⁰-t egyaránt tartalmaz. A Rh promotáló hatása a H₂ szelektivitásban a Co redukciójának elősegítésén alapul.
4. Az irodalmi adatok szerint először készítettem a Rh redukcióját követő XP spektrum-sorozatot CeO₂ hordozón. Az eredményekből az derült ki, hogy a fémtartalomtól függően 373-423 K-en az összes Rh redukálható, és alacsonyabb hőmérsékleten adott Rh^{δ+}/Rh arány stabilizálódik.
5. A CeO₂ hordozós Rh részecskemérete különbözőképpen változik hőkezelés hatására vákuumban valamint H₂ és O₂ atmoszférában az XPS és TEM vizsgálatok alapján.
 - 5.1. Megállapítottam, hogy nagyobb fémtartalomnál (5%) is nagyon jól diszpergált Rh részecskék találhatóak a CeO₂ felületén. A hőkezelés alatt az 1% Rh/CeO₂ mintán jelentősebb volt a felületveszteség az eltérő részecskeméret eloszlás és felületi fémsűrűség miatt.
 - 5.2. Az előzetes oxidáció során megfigyeltem, hogy az O₂ atmoszférában való fűtés gátolja a Rh részecskeméret növekedését, H₂-ben azonban ez nagyon jelentős volt. Ha a hőkezelés vákuumban történt, akkor a szinterelődés megtörtént, de nem olyan mértékben, mint H₂-ben.
 - 5.3. Co-ot is tartalmazó minták esetében nem volt kimutatható szinterelődés vákuumban, H₂-ben viszont igen.
 - 5.4. A szinterelődött minták oxidációjakor a Rh-oxid képződésével együtt a részecskeméret csökkenésére következtettem. Az eredmények alapján valószínűleg az irodalomban már kimutatott Rh-O-Ce kötések képződése és hasadása okozza az eltérő részecskeméret változásokat a különböző atmoszférákban: vákuumban ezek felbomlanak, így szinterelődés következik be. Hidrogénben ez a hatás sokkal jelentősebb. Oxigénben kialakul a Rh-O-Ce kölcsönhatás, ami gátolja a Rh részecskeméret növekedést, illetve a nagyobb részecskék széttöredeznek.

5.5. A vákuumban való hőkezelés alatt megfigyeltem a Rh 3d csúcs negatív irányú eltolódását a Rh fém jeléhez képest, ami a fém-hordozó elektromos kölcsönhatás megváltozására, a hordozóról a fémre történő elektrontranszferre utal.

5. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10040544

Az értekezés alapjául szolgáló tudományos folyóirat közlemények:

1. **E. Varga**, P. Pusztai, A. Oszkó, K. Baán, A. Erdőhelyi, Z. Kónya, J. Kiss:
Stability and temperature induced agglomeration of Rh nanoparticles supported by CeO₂
Langmuir 32 (2016) 2761–2770. **IF₂₀₁₅: 4,457**
2. **E. Varga**, P. Pusztai, L. Óvári, A. Oszkó, A. Erdőhelyi, C. Papp, H.-P Steinrück, Z. Kónya, J. Kiss:
Probing the interaction of Rh, Co and bimetallic Rh–Co nanoparticles with the CeO₂ support: catalytic materials for alternative energy generation
Physical Chemistry Chemical Physics, 17 (2015) 27154-27166. **IF₂₀₁₅: 4,493**
3. **E. Varga**, Zs. Ferencz, A. Oszkó, A. Erdőhelyi, J. Kiss:
Oxidation states of active catalytic centers in ethanol steam reforming reaction on ceria based Rh promoted Co catalysts: an XPS study
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 397 (2015) 127–133. **IF₂₀₁₅: 3,615**

ΣIF= 12,565

Az értekezés témájához nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények:

4. L. Balázs, K. Baán, E. Varga, A. Oszkó, A. Erdőhelyi, Z. Kónya, J. Kiss:
Photo-induced reactions in the CO₂-methane system on titanate nanotubes modified with Au and Rh nanoparticles: Production of hydrogen
Applied Catalysis B: Environmental elfogadott **IF₂₀₁₅: 8,328**

5. G. Varga, Sz. Ziegenheim, Sz. Murath, Z. Csendes, A. Kukovecz, Z. Konya, S. Carlson, L. Korecz, **E. Varga**, P. Pusztai, P. Sipos, I. Palinko:
Cu(II)-amino acid-CaAl-layered double hydroxide complexes, recyclable, efficient catalysts in various oxidative transformations
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 423 (2016) 49-60. **IF₂₀₁₅: 3,615**

6. É. Horváth, K. Baán, **E. Varga**, A. Oszkó, Á. Vágó, M. Törő, A. Erdőhelyi:
Dry reforming of CH₄ on Co/Al₂O₃ catalysts reduced at different temperatures
Catalysis Today doi:10.1016/j.cattod.2016.04.007 **IF₂₀₁₅: 3,893**

7. M. Tóth, **E. Varga**, A. Oszkó, K. Baán, J. Kiss, A. Erdőhelyi:
Partial oxidation of ethanol on supported Rh catalysts: Effect of the oxide support
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 411 (2016) 377-387. **IF₂₀₁₅: 3,615**

8. G. Merza, B. László, A. Oszkó, G. Pótári, **E. Varga**, A. Erdőhelyi:
The synthesis of dimethyl carbonate by the oxycarbonylation of methanol over Cu supported on carbon Norit
Catalysis Letters 145 (2015) 881–892. **IF₂₀₁₅: 2,307**

9. Gy. Halasi, T. Bánsági, **E. Varga**, F. Solymosi:
Photocatalytic decomposition of formic acid on Mo₂C-containing catalyst
Catalysis Letters 145 (2015) 875–880. **IF₂₀₁₅: 2,307**

10. **E. Varga**, M. Varga:
Development and validation of an LC-MS/MS method for the analysis of L-DOPA in oat
Acta Biologica Szegediensis 58 (2014) 133-137. **IF₂₀₁₅: 0**

11. G. P. Szekeres, K. Nemeth, A. Kinka, M. Magyar, B. Reti, **E. Varga**, Zs. Szegletes, A. Erdohelyi, L. Nagy, K. Hernadi:
Segmental nitrogen doping and carboxyl functionalization of multi-walled carbon nanotubes
Physica Status Solidi B 252 (2015) 2472-2478. **IF₂₀₁₅: 1,489**

12. T. Csizmadia, T. Smausz, Cs. Tápai, J. Kopniczky, X. Wang, M. Ehrhardt, P. Lorenz, K. Zimmer, L. Orosz, **E. Varga**, A. Oszkó, B. Hopp:
Comparison of the production of nanostructures on bulk metal samples by picosecond laser ablation at two wavelengths for the fabrication of low-reflective surfaces
Journal of Laser Micro Nanoengineering 10 (2015) 110-118. **IF₂₀₁₅: 1,008**

13. P. Pusztai, R. Puskás, **E. Varga**, A. Erdőhelyi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, J. Kiss:
Influence of gold additives on the stability and phase transformation of titanate nanostructures
Physical Chemistry Chemical Physics 16 (2014) 26786–26797. **IF₂₀₁₅: 4,493**

14. É. A. Enyedy, O. Dömötör, **E. Varga**, T. Kiss, R. Trondl, C. G. Hartinger, B. B. Keppler:
Comparative solution equilibrium studies of anticancer gallium(III) complexes of 8-hydroxy-quinoline and hydroxy(thio)-pyrone ligands
Journal of Inorganic Biochemistry 117 (2012) 189–197. **IF₂₀₁₂: 3,197**

15. E. Csapó, A. Oszkó, **E. Varga**, Á. Juhász, N. Buzás, L. Körösi, A. Majzik, I. Dékány:
Synthesis and characterization of Ag/Au alloy and core(Ag)- shell(Au) nanoparticles
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 415 (2012) 281–287. **IF₂₀₁₂: 2,108**

ΣΣIF= 46,618

Részvétel nemzetközi konferenciákon a doktori témához kapcsolódóan:

1. **E. Varga**, P. Pusztai, A. Oszkó, J. Kiss, A. Erdőhelyi, Z. Kónya:
Temperature induced structural changes of Co-Rh/ceria catalysts
31st European Conference on Surface Science
2015. augusztus 30-szeptember 4., Barcelona, Spanyolország poszter prezentáció

2. **E. Varga**, K. Baán, A. Erdőhelyi, D. Madarász, Á. Kukovecz, A. Oszkó, Z. Kónya, J. Kiss:
Interaction of rhodium with ceria supported cobalt nanoclusters
 The Seventh Edition of the Symposium with International Participation- New Trends and Strategies in the Chemistry of Advanced Materials with Relevance in Biological Systems, Technique and Environmental Protection
 2014. június 5-6., Timisoara, Románia szóbeli előadás

3. **E. Varga**, A. Erdőhelyi, A. Oszkó, J. Kiss, Zs. Ferencz:
XPS characterization of CeO₂ and Al₂O₃ supported Co-Rh catalysts during the steam reforming reaction of ethanol
 12th Pannonian Symposium on Catalysis
 2014. szeptember 16-20., Třešt, Csehország szóbeli előadás

4. **E. Varga**, K. Baán, A. Erdőhelyi, D. Madarász, Á. Kukovecz, A. Oszkó, Z. Kónya, J. Kiss:
Interaction of rhodium with cobalt nanoclusters on CeO₂
 15th Joint Vacuum Conference
 2014. június 15-20., Bécs, Ausztria poszter prezentáció

Részvétel egyéb nemzetközi konferenciákon:

5. E. Horváth, K. Baán, **E. Varga**, A. Oszkó, B. László, A. Erdőhelyi:
Dry reforming of CH₄ on different supported Co catalysts
 11th Natural Gas Conversion Symposium
 2016. június 5-9., Tromso, Norvégia szóbeli előadás

6. J. Kiss, B. Buchholcz, **E. Varga**, T. Varga, Z. Kónya:
Structure and stability of boron doped titanate nanotubes and nanowires
 16th Joint Vacuum Conference/14th European Vacuum Conference
 2016. június 6 – 10., Portoroz, Szlovénia szóbeli előadás

7. G. P. Szekeres, K. Németh, A. Kinka, M. Magyar, B. Réti, **E. Varga**, Zs. Szegletes, A. Erdőhelyi, L. Nagy, K. Hernádi:
Controlled nitrogen doping and carboxyl functionalization of MWCNTs
 28th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
 2015. március 7-14., Kirchberg in Tirol, Austria poszter prezentáció

8. J. Kiss, **E. Varga**, A. Erdőhelyi, A. Oszkó, K. Baán, L. Óvári, C. Papp, H.-P. Steinrück, Z. Kónya:
Interaction of Rh and Co with ceria and their role in the ethanol steam reforming reaction: an XPS and FTIR study
 Rideal Conference
 2015. március 25-27., Berlin, Németország poszter prezentáció

9. Zs. Ferencz, K. Baán, **E. Varga**, A. Oszkó, A. Erdőhelyi:
Reforming of ethanol on Co/Al₂O₃ catalyst reduced at different temperatures
 European Hydrogen Energy Conference 2014
 2014. március 12-14., Sevilla, Spanyolország szóbeli előadás

10. P. Pusztai, L. Nagy, Á. Kukovecz, **E. Varga**, A. Erdőhelyi, J. Kiss, Z. Kónya:
Formation and characterization of gold nanoparticles on titanate nanotubes and nanowires
 15th Joint Vacuum Conference
 2014. június 15-20., Bécs, Ausztria szóbeli előadás

11. **E. Varga**, M. Varga, R. Mihály, A. Palágyi:
Determination of L-DOPA in different oat varieties by LC-MS/MS
 9th Balaton Symposium on High-Performance Separation Methods
 2013. szeptember 4-6., Siófok, Magyarország poszter prezentáció

12. O. Dömötör, **E. Varga**, K. Bali, C. G. Hartinger, B. B. Keppler, T. Kiss, É. A. Enyedy:
Solution studies on antitumor gallium(III) complexes and their interactions with human serum proteins
 International Symposium on Metal Complexes 2012
 2012. június 18-22., Lisszabon, Portugália poszter prezentáció